# 饲粮钠水平对肉仔鸡生长性能、血液学指标和胫骨发育的影响

付　宇　戴　东　马友彪　张海军*　王　晶*　武书庚　齐广海

（中国农业科学院饲料研究所，农业部饲料生物技术重点开放实验室，北京 100081）

摘　要：本试验旨在研究饲粮钠水平对肉仔鸡生长性能、血液离子浓度以及血常规、血气和胫骨指标的影响。选取1日龄爱拔益加（AA）肉仔鸡公雏270只，随机分为3组（每组6个重复，每个重复15只鸡），分别饲喂氯满足需要但钠水平为0.075%（低钠组）、0.160%（中钠组）和0.245%（高钠组）的饲粮。试验期42 d，分为前期（1～14日龄）、中期（15～28日龄）和后期（29～42日龄）3个阶段。结果显示：1）随着饲粮钠水平的升高，肉仔鸡14和28日龄平均体重显著增加（$P$<0.05），低钠组肉仔鸡42日龄平均体重显著低于中钠组和高钠组（$P$<0.05）。低钠组肉仔鸡前期、中期、后期和全期平均日增重均显著低于中钠组和高钠组（$P$<0.05）。肉仔鸡前期平均日采食量随饲粮钠水平增加显著增加（$P$<0.05），中期、后期和全期平均日采食量表现为低钠组显著低于中钠组和高钠组（$P$<0.05）。肉仔鸡前期、中期和全期料重比表现为低钠组显著高于中钠组和高钠组（$P$<0.05）。2）低钠组肉仔鸡28日龄血液钾离子浓度显著高于中钠组（$P$<0.05），该组28日龄血液钠离子和氯离子浓度显著低于中钠组和高钠组（$P$<0.05）。低钠组42日龄血液钠离子浓度显著低于中钠组和高钠组（$P$<0.05）。3）饲粮钠水平对肉仔鸡28日龄血常规指标无显著影响（$P$>0.05）。高钠组42日龄血液血红蛋白浓度显著高于低钠组（$P$<0.05），低钠组血液红细胞比容显著低于中钠组和高钠离组（$P$<0.05）。4）饲粮钠水平对肉仔鸡血气指标均无显著影响（$P$>0.05）。5）低钠组肉仔鸡42日龄胫骨重量和长度均显著低于中钠组和高钠组（$P$<0.05）。由此可见，饲粮钠水平为0.075%时会降低肉仔鸡的采食量，对胫骨发育和生长不利；较高的饲粮钠水平（0.245%）可改善肉仔鸡的生长性能，且在前期效果较好。

关键词：肉仔鸡；钠；氯；饲粮电解质平衡；生长性能；血液学指标；胫骨发育中图分类号：S816　　　　文献标识码：A　　　　文章编号：

收稿日期：2018-04-13

基金项目：家禽产业技术体系北京市创新团队项目（CARS-PSTP）；国家科技支撑计划（2016YFD0501202-06）

作者简介：付　宇（1993—），女，黑龙江牡丹江人，硕士研究生，从事动物营养与饲料科学研究。E-mail: fuuuuyu@163.com

*通信作者：张海军，副研究员，硕士生导师，E-mail: fowlfeed@163.com；王　晶，副研究员，硕士生导师，E-mail: wangjing@caas.cn

电解质为代谢过程中稳定不变的离子，分为阴、阳 2 种离子，阳离子为碱性离子，阴离子为酸性离子。随着动物营养研究的不断深入，饲粮电解质对畜禽生长及体内生理生化反应的重要作用日益受到营养学家的重视。钠离子为常见的阳离子，但饲粮钠的适宜剂量尚无定论，NY/T 33-2004 推荐肉仔鸡钠需要量为 0.15%～0.20%，有学者认为饲粮含 0.40%的钠对肉仔鸡的采食量和体增重最理想[1-2]，也有报道指出 0.25%和 0.28%的钠为肉仔鸡前期最佳需要量，0.15%的钠为肉仔鸡后期最佳需要量[3-4]。在近年的报道中，Koreleski 等[5]提出低钠（0.12%）可获得更好的生长性能，Jankowski 等[6]也指出肉仔鸡饲粮应添加较低水平的钠（1～14 日龄，0.15%；15～35 日龄，0.11%）。还有学者提出利用饲粮电解质平衡（dEB）理念同时考虑饲粮钠离子和氯离子（dEB=钠离子+钾离子-氯离子），并认为 dEB 为 250 mEq/kg 时适合肉仔鸡生长[7-8]。近年国外学者的报道中对肉仔鸡饲粮中钠的推荐量越来越低，但目前国内肉仔鸡对钠需要量的研究较少，且多集中于腿病，生长性能结果不一致，作为家禽所必需的离子，钠可调节生长代谢，饲粮适宜的钠水平对肉仔鸡生长潜力的发挥具有重要意义。本试验拟在氯满足需要时，探究饲粮钠水平对肉仔鸡生长性能、血液离子浓度以及血常规、血气和胫骨指标的影响，旨在确定肉仔鸡饲粮钠的适宜水平，为肉仔鸡生产实践提供科学依据。

# 1 材料与方法

## 1.1 试验材料

爱拔益加（AA）肉仔鸡：购于廊坊市康达畜禽养殖有限公司；氯化钠（≥99.5%）、碳酸钠（≥99.8%）、氯化钾（≥99.5%）、氯化铵（≥99.5%）、碳酸钾（≥99.0%）：购于西陇化工有限公司。

## 1.2 试验设计与饲粮

试验选取健康、体重相近的 1 日龄 AA 肉仔鸡公雏 270 只，随机分为低钠组、中钠组和高钠组，每组 6 个重复，每重复 15 只鸡。低钠饲粮通过添加氯化钠满足氯需要，饲粮钠水平设定为 0.075%，中钠和高钠饲粮在低钠饲粮的基础上，通过添加碳酸钠使饲粮钠水平分别达到 0.160%和 0.245%。饲粮氯水平为以往研究普遍推荐量[3,9]并参考 NRC（1994）肉仔鸡营养需求和《鸡饲养标准》（NY/T 33-2004）所得，中钠饲粮钠水平为以往研究普遍推荐量[3-6]并参考 NRC（1994）肉仔鸡营养需求和《鸡饲养标准》（NY/T 33-2004）所得。参照

NRC（1994）肉仔鸡营养需求和《鸡饲养标准》（NY/T 33-2004），并结合《AA 肉仔鸡饲养手册》配制基础饲粮，通过调整基础饲粮中钠氯预混料中氯化钠、碳酸钠和玉米的添加量来满足试验设定各饲粮的氯和钠水平，采用 GB/T 13885-2003 方法测定饲粮钠水平，采用 GB/T 6439-2007 方法测定饲粮氯水平。基础饲粮组成及营养水平见表 1。试验期 42 d，分为前期（1~14 日龄）、中期（15~28 日龄）和后期（29~42 日龄）3 个阶段。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of basal diets (air-dry basis)　　　%

| 项目 Items | 1～14 日龄 1 to 14 days of age | 15～28 日龄 15 to 28 days of age | 29～42 日龄 29 to 42 days of age |
|---|---|---|---|
| 原料 Ingredients | | | |
| 玉米 Corn | 57.99 | 58.37 | 60.60 |
| 豆粕 Soybean meal | 34.86 | 33.08 | 30.85 |
| 豆油 Soybean oil | 2.54 | 4.48 | 4.72 |
| 磷酸氢钙 $CaHPO_4$ | 1.97 | 1.45 | 1.21 |
| 石粉 Limestone | 1.13 | 1.28 | 1.31 |
| *DL*-蛋氨酸 *DL*-Met | 0.34 | 0.26 | 0.20 |
| *L*-赖氨酸盐酸盐 *L*-Lys·HCl | 0.31 | 0.15 | 0.04 |
| 维生素预混料 Vitamin premix1) | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 矿物质预混料 Mineral premix2) | 0.20 | 0.20 | 0.20 |
| 氯化胆碱 Choline chloride (50%) | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| 植酸酶 Phytase | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 氯化钾 KCl | | 0.07 | |
| 氯化铵 $NH_4Cl$ | | | 0.08 |
| 碳酸钾 $K_2CO_3$ | | | 0.13 |
| 钠氯预混料 Sodium and chlorine premix3) | 0.53 | 0.53 | 0.53 |
| 合计 Total | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 营养水平 Nutrient levels4) | | | |
| 代谢能 ME/(MJ/kg) | 12.36 | 12.96 | 13.17 |
| 粗蛋白质 CP | 22.10 | 21.22 | 20.15 |
| 钙 Ca | 1.05 | 0.94 | 0.87 |
| 有效磷 AP | 0.50 | 0.45 | 0.42 |
| 赖氨酸 Lys | 1.27 | 1.10 | 0.97 |
| 蛋氨酸 Met | 0.47 | 0.42 | 0.38 |
| 蛋氨酸＋半胱氨酸 Met+Cys | 0.94 | 0.84 | 0.76 |
| 苏氨酸 Thr | 0.80 | 0.73 | 0.65 |
| 色氨酸 Trp | 0.22 | 0.18 | 0.16 |
| 钠 Na | 0.075（0.079） | 0.160（0.162） | 0.245（0.252） |
| 氯 Cl | 0.220（0.235) | 0.220(0.231) | 0.220(0.229) |
| 饲粮电解质平衡 dEB/(mEq/kg) | 199.00 | 236.00 | 272.00 |

1) 维生素预混料为每千克提供 Vitamin premix provided the following per kg of diets：VA 12 500 IU，$VD_3$ 2 500 IU，$VK_3$ 2.65 mg，$VB_1$ 2 mg，$VB_2$ 6 mg，$VB_{12}$ 0.025 mg，VE 30 IU，生物素 biotin 0.35 mg，叶酸 folic acid 1.25 mg，泛酸 pantothenic acid 12 mg，烟酸 nicotinic acid 50 mg。

2) 矿物质预混料为每千克饲粮提供 Mineral premix provided the following per kg of diets：Cu 8 mg，Zn 75 mg，Fe 80 mg，Mn 100 mg，Se 0.15 mg，I 0.35 mg。

3) 低钠饲粮中钠氯预混料由 0.39%的玉米和 0.14%的氯化钠组成，中钠饲粮中钠氯预混料由 0.19%的玉米、0.14%的氯化钠和 0.20%的碳酸钠组成，高钠饲粮中钠氯预混料由 0.14%的氯化钠和 0.39%的碳酸钠组成。The sodium and chlorine premix of lower sodium diet was constituted by 0.39% corn and 0.14% NaCl, that of medium sodium diet was constituted by 0.19% corn, 0.14% NaCl and 0.20% $Na_2CO_3$, and that of higher sodium diet was constituted by 0.14% NaCl and 0.39% $Na_2CO_3$.

4) 钠和氯括号外数值为计算值，括号内数值为实测值，代谢能和有效磷为计算值，其余均为实测值。The digits outside the brackets of Na and Ca were calculated values, and the digits inside the brackets of Na and Ca were measured values. ME and AP were calculated values, while the others were measured values.

### 1.3 饲养管理

试验期间自由饮食、饮水，24 h 光照。试验前 3 天室温 33 ℃，此后每周降低 2 ℃，直到 24 ℃并维持。按照《AA 肉仔鸡饲养手册》操作，正常防疫和消毒，试验鸡舍保持良好通风。试验过程中，每日定时记录鸡舍温度和湿度，打扫卫生。

### 1.4 指标测定与方法

#### 1.4.1 生长性能

分别于试验开始前（第 0 天）以及试验第 14 天、第 28 天和第 42 天，以重复为单位空腹称重鸡只，计算平均体重（ABW）；试验期间以重复为单位记录耗料量，计算试验前期、中期、后期和全期的平均日增重（ADG）、平均日采食量（ADFI）和料重比（F/G）；每天记录死淘鸡数并称重，计算存活率。

#### 1.4.2 血常规指标

分别于试验第 28 天和第 42 天，以重复为单位选择 1 只鸡，采集 3 mL 抗凝血。使用日本 XE-800i 血液分析仪（日本希森美康公司）检测血红蛋白浓度（Hb）、红细胞压积（Hct）、平均红细胞体积（MCV）、平均血红蛋白含量（MCH）和平均血红蛋白浓度（MCHC）。

#### 1.4.3 血气指标

试验结束后，以重复为单位选择 1 只鸡，用肝素钠抗凝剂润洗 2 mL 一次性使用无菌带针的注射器，心脏采血法刺穿左心室采动脉血 1.0～1.5 mL，并迅速用胶块封住针口。使用罗氏 COMAS B221 血气分析仪检测 pH、氧分压（$pO_2$）、二氧化碳分压（$pCO_2$）和碳酸氢根离子（$HCO_3^-$）浓度。

#### 1.4.4 血液离子浓度

分别于试验第 28 天和第 42 天，以重复为单位选择 2 只鸡，翅静脉采血 5 mL 至促凝管中，3 000 r/min 离心 10 min，上清液分装于 1.5 mL Eppendof 管中，置-20 ℃冰箱保存，采用电极法测血液钠离子、钾离子和氯离子浓度。

#### 1.4.5 胫骨指标

试验结束后，以重复为单位选择 1 只鸡，屠杀剥取右腿胫骨，使用游标卡尺测量胫骨长度，65 ℃干燥 48 h，冷却至室温，称重。

### 1.5 数据统计分析

采用 SPSS 16.0 软件分析试验数据，检验数据的方差齐性，采用 ANOVA 程序进行方差

分析，并采用 Turkey’s 法进行多重比较。数据采用平均值和均值标准误（SEM）表示，*P*<0.05 为差异显著。

## 2　结　果

### 2.1　饲粮钠水平对肉仔鸡生长性能的影响

由表 2 可知，随着饲粮钠水平的升高，肉仔鸡 14 和 28 日龄平均体重显著增加（*P*<0.05）。中钠组和高钠组肉仔鸡 14、28 和 42 日龄平均体重显著高于低钠组（*P*<0.05），且高钠组 14 和 28 日龄平均体重还显著高于中钠组（*P*<0.05），中钠组和高钠组肉仔鸡 42 日龄平均体重差异不显著（*P*>0.05）。肉仔鸡前期、中期、后期和全期的 ADG，中钠组和高钠组差异不显著（*P*>0.05），二者均显著高于低钠组（*P*<0.05）。肉仔鸡前期 ADFI 随饲粮钠水平的升高显著增加（*P*<0.05），中期、后期和全期 ADFI 表现为中钠组和高钠组差异不显著（*P*>0.05），二者均显著高于低钠组（*P*<0.05）。肉仔鸡前期、中期和全期的 F/G 表现为中钠组和高钠组差异不显著（*P*>0.05），二者显著低于低钠组（*P*<0.05）。肉仔鸡前期、中期、后期和全期存活率均差异不显著（*P*>0.05）。

表 2　饲粮钠水平对肉仔鸡生长性能的影响

Table 2　Effects of dietary sodium level on growth performance of broilers

| 项目 Items | 组别 Groups | | | 均值标准误 SEM | *P* 值 *P*-value |
|---|---|---|---|---|---|
| | 低钠 Lower sodium | 中钠 Medium sodium | 高钠 Higher sodium | | |
| 14 日龄体重 BW at 14 days of age/g | 380.0$^{c}$ | 465.5$^{b}$ | 496.8$^{a}$ | 10.42 | <0.001 |
| 28 日龄体重 BW at 28 days of age/g | 1 025.8$^{c}$ | 1 440.2$^{b}$ | 1 532.7$^{a}$ | 45.71 | <0.001 |
| 42 日龄体重 BW at 42 days of age/g | 2 051.0$^{b}$ | 2 729.9$^{a}$ | 2 810.7$^{a}$ | 72.99 | <0.001 |
| 1～14 日龄 1 to 14 days of age | | | | | |
| 平均日增重 ADG/g | 23.1$^{b}$ | 29.6$^{a}$ | 31.3$^{a}$ | 0.74 | <0.001 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 平均日采食量 ADFI/g | 33.4$^{c}$ | 36.7$^{b}$ | 40.7$^{a}$ | 0.65 | <0.001 |
| 料重比 F/G | 1.44$^{a}$ | 1.24$^{b}$ | 1.30$^{b}$ | 0.021 | <0.001 |
| 成活率 Survival rate/% | 100.00 | 98.33 | 98.33 | 0.007 | 0.551 |
| 15～28 日龄 15 to 28 days of age | | | | | |
| 平均日增重 ADG/g | 46.1$^{b}$ | 69.5$^{a}$ | 72.3$^{a}$ | 2.49 | <0.001 |
| 平均日采食量 ADFI/g | 76.5$^{b}$ | 98.4$^{a}$ | 106.3$^{a}$ | 2.72 | <0.001 |
| 料重比 F/G | 1.67$^{a}$ | 1.42$^{b}$ | 1.47$^{b}$ | 0.030 | <0.001 |
| 存活率 Survival rate/% | 100.00 | 98.90 | 94.83 | 0.009 | 0.061 |
| 29～42 日龄 29 to 42 days of age | | | | | |
| 平均日增重 ADG/g | 72.0$^{b}$ | 92.2$^{a}$ | 95.2$^{a}$ | 2.32 | <0.001 |
| 平均日采食量 ADFI/g | 119.4$^{b}$ | 148.4$^{a}$ | 150.8$^{a}$ | 3.26 | <0.001 |
| 料重比 F/G | 1.66 | 1.61 | 1.59 | 0.021 | 0.409 |
| 存活率 Survival rate/% | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 0.000 | — |
| 1～42 日龄 1 to 42 d | | | | | |
| 平均日增重 ADG/g | 46.6$^{b}$ | 61.5$^{a}$ | 62.8$^{a}$ | 1.64 | <0.001 |
| 平均日采食量 ADFI/g | 75.6$^{b}$ | 90.3$^{a}$ | 94.9$^{a}$ | 1.80 | <0.001 |
| 料重比 F/G | 1.62$^{a}$ | 1.47$^{b}$ | 1.52$^{b}$ | 0.019 | <0.001 |
| 存活率 Survival rate/% | 100.00 | 97.00 | 93.33 | 0.014 | 0.207 |

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著（$P$＞0.05），不同字母表示差异显著（$P$＜0.05）。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ($P$＞0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference ($P$＜0.05). The same as below.

## 2.2 饲粮钠水平对肉仔鸡血液离子浓度的影响

由表 3 可知，28 日龄时，低钠组肉仔鸡血液钠离子、氯离子浓度显著低于中钠组和高

钠组（$P$<0.05），中钠组与高钠组之间差异不显著（$P$>0.05）；低钠组肉仔鸡血液钾离子浓度显著高于中钠组（$P$<0.05），且上述 2 组均与高钠组差异不显著（$P$>0.05）。42 日龄时，低钠组血液钠离子浓度显著低于中钠组和高钠组（$P$<0.05），中钠组和高钠组之间差异不显著（$P$>0.05）；低钠组血液氯离子浓度略低于中钠组和高钠组，但组间差异不显著（$P$>0.05）；血液钾离子浓度可观察到随饲粮钠水平升高呈现降低趋势，但组间差异不显著（$P$>0.05）。

表 3　饲粮钠水平对肉仔鸡血液离子浓度的影响

Table 3　Effects of dietary sodium level on blood ion concentrations of broilers　mmol/L

| 项目 Items | 组别 Groups | | | 均值标准误 SEM | *P* 值 *P*-value |
|---|---|---|---|---|---|
| | 低钠 Lower sodium | 中钠 Medium sodium | 高钠 Higher sodium | | |
| 28 日龄 28 days of age | | | | | |
| 钾离子 $K^+$ | 5.63[a] | 4.77[b] | 5.19[ab] | 0.132 | 0.018 |
| 钠离子 $Na^+$ | 140.56[b] | 149.00[a] | 148.05[a] | 1.097 | <0.001 |
| 氯离子 $Cl^-$ | 101.00[b] | 105.11[a] | 104.54[a] | 0.532 | <0.001 |
| 42 日龄 42 days of age | | | | | |
| 钾离子 $K^+$ | 3.75 | 3.54 | 3.28 | 0.111 | 0.235 |
| 钠离子 $Na^+$ | 138.67[b] | 142.08[a] | 141.55[a] | 0.494 | 0.003 |
| 氯离子 $Cl^-$ | 101.98 | 104.18 | 103.33 | 0.405 | 0.073 |

2.3　饲粮钠水平对肉仔鸡血常规指标的影响

由表 4 可知，28 日龄时，低钠组血液 MCHC 随着饲粮钠水平的升高有上升趋势，但组间差异不显著（$P$>0.05），血常规其他指标组间亦无显著差异（$P$>0.05）。42 日龄时，低钠组血液 Hb 显著低于高钠组（$P$<0.05），并且该组血液 Hct 显著低于中钠组和高钠组（$P$<0.05），中钠组血液 Hb 与低钠租、高钠组差异均不显著（$P$>0.05），中钠组血液 Hct 与高钠组差异不显著（$P$>0.05），血液 MCV、MCH、MCHC 各组间均差异不显著（$P$>0.05）。

表 4　饲粮钠水平对肉仔鸡血常规指标的影响

Table 4　Effects of dietary sodium level on blood routine parameters of broilers

| 项目 | 组别 Groups | 均值标 | *P* 值 |
|---|---|---|---|

| Items | 低钠 Lower sodium | 中钠 Medium sodium | 高钠 Higher sodium | 准误 SEM | *P*-value |
|---|---|---|---|---|---|
| 28 日龄 28 days of age | | | | | |
| 血红蛋白浓度 Hb/（g/L） | 81.67 | 78.40 | 79.00 | 1.272 | 0.565 |
| 红细胞比容 Hct/% | 30.12 | 29.96 | 30.17 | 0.454 | 0.984 |
| 平均红细胞体积 MCV/fL | 128.23 | 129.52 | 130.05 | 0.797 | 0.660 |
| 平均血红蛋白含量 MCH/pg | 34.77 | 33.90 | 34.05 | 0.305 | 0.491 |
| 红细胞平均血红蛋白浓度 MCHC/(g/L) | 271.00 | 261.80 | 262.00 | 1.786 | 0.068 |
| 42 日龄 42 days of age | | | | | |
| 血红蛋白浓度 Hb/（g/L） | $75.50^{b}$ | $80.44^{ab}$ | $86.67^{a}$ | 1.515 | 0.003 |
| 红细胞比容 Hct/% | $29.00^{b}$ | $31.44^{a}$ | $33.07^{a}$ | 0.542 | 0.002 |
| 平均红细胞体积 MCV/fL | 128.52 | 132.07 | 131.05 | 0.798 | 0.178 |
| 平均血红蛋白含量 MCH/pg | 33.43 | 34.62 | 34.33 | 0.263 | 0.162 |
| 红细胞平均血红蛋白浓度 MCHC/(g/L) | 260.50 | 262.17 | 261.83 | 1.329 | 0.878 |

## 2.4 饲粮钠水平对肉仔鸡血气指标的影响

由表 5 可知，饲粮钠水平对肉仔鸡血气指标均无显著影响（*P*>0.05），但随着饲粮钠水平的升高，动脉血 pH 和 $pO_2$ 有增加的趋势。

表 5 饲粮钠水平对肉仔鸡血气指标的影响

Table 5 Effects of dietary sodium level on blood gas parameters of broilers

| 项目 Items | 组别 Groups | | | 均值标准误 SEM | *P* 值 *P*-value |
|---|---|---|---|---|---|
| | 低钠 Lower sodium | 中钠 Medium sodium | 高钠 Higher sodium | | |
| pH | 7.30 | 7.32 | 7.34 | 0.009 | 0.228 |
| 二氧化碳分压 $pCO_2$/(mmol/L) | 46.27 | 48.62 | 42.43 | 1.553 | 0.274 |
| 氧分压 $pO_2$/(mmol/L) | 41.32 | 43.35 | 45.05 | 1.800 | 0.723 |
| 碳酸氢根离子 $HCO_3^-$/(mmol/L) | 22.37 | 23.48 | 22.77 | 0.487 | 0.667 |

### 2.5 饲粮钠水平对肉仔鸡胫骨发育的影响

由表 6 可知，低钠组肉仔鸡 42 日龄胫骨重量和长度均显著低于中钠组和高钠组（$P<0.05$），且中钠组和高钠组胫骨重量均高出低钠组约 40%。

表 6 饲粮钠水平对肉仔鸡胫骨发育的影响

Table 6 Effects of dietary sodium level on tibia development of broilers

| 项目 Items | 组别 Groups | | | 均值标准误 SEM | *P* 值 *P*-value |
|---|---|---|---|---|---|
| | 低钠 Lower sodium | 中钠 Medium sodium | 高钠 Higher sodium | | |
| 重量 Weight/g | 6.43[b] | 9.03[a] | 8.84[a] | 0.326 | <0.001 |
| 长度 Length/mm | 92.72[b] | 97.89[a] | 98.52[a] | 0.796 | <0.001 |

## 3 讨 论

### 3.1 饲粮钠水平对肉仔鸡生长性能的影响

本试验表明，提高饲粮钠水平可显著提高肉仔鸡前期和中期平均体重，后期平均体重 0.245%与 0.160%钠水平组差异不显著，但 0.245%钠水平组有上升趋势，说明提高饲粮钠水平可改善肉仔鸡的生长性能。。前人研究表明，体增重、采食量、饲料转化率等与饲粮钠水平呈正相关关系[5,10]，与本文所得结果一致。研究显示，肉仔鸡生长前期需要 0.20%～0.25%的钠[11]，甚至初始期需要 0.26%的钠[12]，本文结果也显示 0.245%钠水平组肉仔鸡的生长性能最佳，0.245%钠水平组 14、28 和 42 日龄平均体重较 0.075%钠水平组分别高出 116、507、和 759 g，较 0.16%钠水平组分别高出 31、92 和 81 g，高钠水平表现出了绝对优势。0.075%钠水平组的肉仔鸡发育迟缓，与 Kuchinski 等[13]报道的 0.078%钠水平情况一致，体增重随饲粮钠水平的降低而降低。本试验中，0.075%钠水平组肉仔鸡 ADFI 和 ADG 始终低于 0.245%与 0.160%钠水平组，该组前期和中期 F/G 显著高于 0.245%与 0.160%钠水平组，后期 F/G 各组间无显著差异，可见钠不足造成肉仔鸡生长性能降低的重要因素为采食量不足；同时，钠不足还可能造成一些其他的生理反应异常，或者致使肉仔鸡的消化利用率也降低，进而加重生长抑制。过量钠摄入也会导致钠中毒，Vieira 等[2]表示，当钠水平超过 0.48%时会导致幼龄肉仔鸡大量死亡，Kurtoğlu 等[14]也指出，当钠水平超过 0.3%时会导致血液和肾脏的氯缺乏症，影响机体健康。本试验中 0.245%的钠虽未达到前人所报道的剂量，但也观察到高

钠组在15～28日龄有降低肉仔鸡存活率的趋势，这也表明高钠可能会对幼龄肉仔鸡存活率有不利影响，但本试验中0.245%的钠还未达到显著影响存活率的水平。

### 3.2 饲粮钠水平对肉仔鸡血液离子浓度的影响

钠吸收的主要部位是小肠，吸收的主要机制是主动转运，大体有3种途径：非偶联吸收、偶联吸收、中性NaCl吸收（主要形式）。氯的吸收与钠的吸收密切相关，中性氯化钠的吸收不仅为钠的主要吸收方式，也是氯的主要吸收方式，血液氯离子与钠离子浓度存在着正相关关系，所以升高饲粮钠水平显著升高了28和42日龄血液中钠离子以及28日龄血液中氯离子浓度，42日龄血液中氯离子浓度有上升趋势。根据电中性原理，钾离子与钠离子同为阳离子，两者存在着此消彼长的关系，所以升高饲粮钠水平降低了28日龄血液中钾离子浓度，42日龄血液中钾离子浓度也可见降低趋势。卫舒敏等[15]报道，在基础饲粮中增加钠（硫酸钠）对血液钠离子浓度无显著影响。本试验中，当饲粮钠水平为0.160%～0.245%时，血液中钠离子、钾离子、氯离子浓度无显著差异，与前人研究基本相符，而当饲粮钠水平降低到0.075%时，血液中钠离子浓度显著降低，可能与其已造成钠缺乏有关。卫舒敏等[15]也指出，血液钾离子浓度随饲粮钠水平的升高而降低，与本试验结果相一致。本试验中，低钠组肉仔鸡血液钠离子、钾离子、氯离子浓度在28日龄时均发生了显著变化，而42日龄时仅见血液钠离子浓度发生显著变化，而血液钾离子、氯离子浓度则未发生显著变化，可能与肉仔鸡对饲粮钠水平的变化在短期内敏感，而在机体长期调节后逐渐适应有关。本试验中，高钠组的血液钠离子、氯离子浓度均处于低钠组和中钠组之间，可见高钠水平（0.245%）并没有造成血液离子代谢紊乱的情况，机体此时处于相对稳定健康的状态。

### 3.3 饲粮钠水平对肉仔鸡血常规指标的影响

Hb参与血液运输氧气，Hct又称红细胞比容，是一种间接反映红细胞物理状态的简单方法，其结合Hb，有助于贫血的形态学分类，在出现呕吐或腹泻时可以观察到Hb和Hct升高的现象。本试验中未观察到肉仔鸡有腹泻的现象，0.245%钠水平组血液Hb和Hct升高可排除是由腹泻引起的。研究表明，提高饲粮钠的添加量可显著增加血液Hct和Hb[16]，本研究结果与前人报道相一致，得出0.245%的钠可获得更好的血氧运输能力，更有利于肉仔鸡的生长发育。

### 3.4 饲粮钠水平对肉仔鸡血气指标的影响

酸碱平衡是衡量机体健康状况的重要指标。研究发现，血液 pH 超过 7.6 或低于 7.0 都会导致蛋鸡死亡[17]。卫舒敏等[15]报道饲粮钠水平对血气指标无显著影响，本试验结果与此相一致。但也有研究认为，饲粮钠水平的升高会引起血液 pH、$HCO_3^-$浓度、二氧化碳总量($TCO_2$)、剩余碱(BE)升高[4]，与本文结果不符的原因可能为本试验中饲粮钠水平梯度较小，且都在肉仔鸡自身可调节范围内。本试验中也可观察到随饲粮钠水平的升高，动脉血 pH、$pO_2$ 有上升的趋势，血液中物理溶解的氧分子($O_2$)所产生的压力为 $pO_2$，在呼吸和血氧运输作用中，$O_2$ 溶解于血中形成 $pO_2$，进而形成 $O_2$ 和 Hb 的结合，上文也曾指出提高饲粮钠水平可显著增加血液 Hct 和 Hb，pH、$pO_2$ 的增加趋势也印证了 0.245%的钠具有更好的呼吸作用和血氧运输能力，降低了机体呼吸性酸中毒的发生。

### 3.5 饲粮钠水平对肉仔鸡胫骨发育的影响

胫骨发育程度对肉仔鸡发育有重要意义，研究发现饮水中离子水平可影响肉仔鸡腿疾[18]，医学上也曾报道机体对钠长期异常摄入可引发骨质疏松症[19]。汪尧春等[20]也曾发现，电解质通过改变血液酸碱平衡，影响血氧运输效率和骨胶原代谢诱发腿疾发生。本研究结果显示，0.075%钠水平组胫骨重量及长均显著低于 0.16%和 0.245%钠水平组。本研究中血液酸碱平衡未发生显著改变，缺钠造成的采食量降低可能是引起肉仔鸡生长发育缓慢和骨质变软的直接原因。

### 3.6 dEB对肉仔鸡的影响

dEB是一个备受关注的话题，目前学者较为推崇的计算方法是dEB=钠离子+钾离子-氯离子。在肉仔鸡的研究中，较多的研究建议250 mEq/kg左右（250[7]、274[9]和260 mEq/kg[8]）的dEB值利于鸡只生长，本试验结果显示，在前期，dEB为272 mEq/kg组获得了较好的生长性能，到后期，dEB为236 mEq/kg组与dEB为272 mEq/kg组生长性能差异均不显著。Gezen等[21]报道dEB为256 mEq/kg组胫骨灰分含量高于dEB为170 mEq/kg组，本研究结果与前人研究相符，dEB为236~272 mEq/kg时肉仔鸡具有较高的胫骨重量。

## ① 结 论

① 饲粮钠水平为 0.075%时会降低肉仔鸡的采食量，同时胫骨发育和生长性能也受到抑制。

② 饲粮钠水平对血液离子浓度的影响为暂时性影响，且 0.075%～0.245%的饲粮钠水平

处于肉仔鸡机体可调节范围。

③ 较高的饲粮钠水平（0.245%）可通过提高采食量、饲料转化率及血氧运输能力，改善肉仔鸡生长性能，且在前期效果较好。

参考文献：

[1] MAIORKA A,MAGRO N,BARTELS H A S,et al.Different sodium levels and electrolyte balances in pre-starter diets for broilers[J].Revista Brasileira de Ciência Avícola,2004,6(3):143–146.

[2] VIEIRA S L,PENZ A M Jr,POPHAL S,et al.Sodium requirements for the first seven days in broiler chicks[J].The Journal of Applied Poultry Research,2003,12(3):362–370.

[3] MURAKAMI A E,OVIEDO-RONDÓN E O,MARTINS E N,et al.Sodium and chloride requirements of growing broiler chickens (twenty-one to forty-two days of age) fed corn-soybean diets[J].Poultry Science,2001,80(3):289–294.

[4] OVIEDO-RONDÓN E O,MURAKAMI A E,FURLAN A C,et al.Sodium and chloride requirements of young broiler chickens fed corn-soybean diets (one to twenty-one days of age)[J].Poultry Science,2001,80(5):592–598.

[5] KORELESKI J,ŚWIĄTKIEWICZ S,ARCZEWSKA A.The effect of dietary potassium and sodium on performance,carcass traits,and nitrogen balance and excreta moisture in broiler chicken[J].Journal of Animal and Feed Sciences,2010,19(2):244–256.

[6] JANKOWSKI J,ZDUŃCZYK Z,JUŚKIEWICZ J,et al.The effect of different dietary sodium levels on the growth performance of broiler chickens,gastrointestinal function,excreta moisture and tibia mineralization[J].Journal of Animal and Feed Sciences,2011,20(1):93–106.

[7] LEESON S,SUMMERS J D.Scott's Nutrition of the Chicken[M].Guelph,Ontario:University Books,2001.

[8] SHAHBAZ T H,ALAM M Z,NADEEM A,et al.Effect of varying dietary cation-anion balance on broilers growth[J].Pakistan Journal of Life and Social Sciences,2004,2(1):82–84.

[9] KORELESKI J,ŚWIĄTKIEWICZ S,ARCZEWSKA-WŁOSEK A.The effect of different

dietary potassium and chloride levels on performance and excreta dry matter in broiler chickens[J].Czech Journal of Animal Science,2011,56(2):53–60.

[10] CENGIZ Ö,HESS J B,BILGILI S F.Influence of graded levels of dietary sodium on the development of footpad dermatitis in broiler chickens[J].The Journal of Applied Poultry Research,2012,21(4):770–775.

[11] MURAKAMI A E,WATKIN S E,SALEH E A,et al.Estimation of the sodium and chloride requirements for the young broiler chick[J].The Journal of Applied Poultry Research,1997,6(2):155–162.

[12] MUSHTAQ M M H.Implications of varying electrolytes (sodium,potassium and chloride) and their balance on growth performance and physiological responses of broilers[D].Ph.D.Thesis.University of Veterinary and Animal Sciences,2011.

[13] KUCHINSKI K K,HARMS R H,WILSON H R,et al.Re-evaluation of sodium requirement of commercial laying hen[J].Journal of Applied Animal Research,1999,15(1):25–34.

[14] KURTOĞLU V,KURTOĞLU F,BALEV T.Effects of sodium bicarbonate,potassium chloride and sodium chloride supplementation on some blood biochemical parameters in laying hens[C]//Proceedings of the European Symposium on Poultry Nutrition.Strasbourg,France:World Poultry Science Association,2007:26–30.

[15] 卫舒敏,岳洪源,武书庚,等.京红蛋鸡对硫酸钠的耐受性研究[J].动物营养学报,2015,27(8):2493–2501.

[16] MIRSALIMI S M,JULIAN R J.Effect of excess sodium bicarbonate on the blood volume and erythrocyte deformability of broiler chickens[J].Avian Pathology,1993,22(3):495–507.

[17] HUGHES R J.Inter-relationships between egg shell quality,blood acid-base balance and dietary electrolytes[J].Worlds Poultry Science Journal,1988,44(1):30–40.

[18] 罗兰.肉鸡的胫骨软骨发育异常[J].中国畜牧兽医,1989(1):53–55.

[19] HE F J,MACGREGOR G A.Reducing population salt intake worldwide:from evidence to implementation[J].Progress in Cardiovascular Diseases,2010,52(5):363–382.

[20] 汪尧春,周毓平,呙于明,等.日粮不同阴阳离子对 21 日龄肉仔鸡血液酸碱平衡和胫骨软骨

发育[J].畜牧兽医学报,1999,30(3):211–216.

[21] GEZEN S S,EREN M,DENIZ G.The effect of different dietary electrolyte balances on eggshell quality in laying hens[J].Revue de Médecine Vétérinaire,2005,156(10):491–497.

# Effects of Dietary Sodium Level on Growth Performance, Hematological Parameters and Tibia Development of Broilers

FU Yu　DAI Dong　MA Youbiao　ZHANG Haijun*　WANG Jing　WU Shugeng　QI Guanghai

(*Key Laboratory of Feed Biotechnology of Ministry of Agriculture*, *Feed Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences*, *Beijing* 100081, *China*)

Abstract: This study was conducted to investigate the effects of dietary sodium level on growth performance, blood ion concentrations, blood routine, blood gas and tibia parameters of broilers. A total of 270 one-day-old healthy male Arbor Acres broilers were randomly assigned to 3 groups with 6 replicates per group and 15 broilers per replicate. Broilers in the 3 groups were fed diets with the sodium level of 0.075% (lower sodium group), 0.160% (medium sodium group) and 0.245% (higher sodium group), respectively. The chlorine of each diet could meet the demand of broilers. The experiment lasted for 42 days, including 3 periods which were early period (1 to 14 days of age), medium period (15 to 28 days of age) and late period (29 to 42 days of age). The results showed as follows: 1) the average body weight at 14 and 28 days of age was significantly increased with dietary sodium level increasing ($P$<0.05). Compared with the medium sodium group and higher sodium group, the average body weight at 42 days of age in the lower sodium group was significantly decreased ($P$<0.05). Compared with the medium sodium group and higher sodium group, the average daily gain in the lower sodium group was significantly decreased during early period, medium period, late period and whole period ($P$<0.05). The average daily feed intake was significantly increased with dietary sodium level increasing during early period ($P$<0.05). Compared with the medium sodium group and higher sodium group, the average daily

Corresponding authors: ZHANG Haijun, associate professor, E-mail: fowlfeed@163.com; WANG Jing, associate professor, E-mail: wangjing@caas.cn　　(责任编辑　菅景颖)

feed intake in the lower sodium group was significantly decreased during medium period, late period and whole period ($P$<0.05). Compared with the medium sodium group and higher sodium group, the feed/gain in the lower sodium group was significantly increased during early period, medium period and whole period ($P$<0.05). 2) Compared with the medium sodium group, the blood potassium ion concentration at 28 days of age in the lower sodium group was significantly increased ($P$<0.05). Compared with the medium sodium group and higher sodium group, the blood sodium ion and chloride ion concentrations at 28 days of age in the lower sodium group were significantly decreased ($P$<0.05). Compared with the medium sodium group and higher sodium group, the blood sodium ion concentration at 42 days of age in the lower sodium group was significantly decreased ($P$<0.05). 3) There were no significant differences in blood routine parameters at 28 days of age ($P$>0.05). Compared with the lower sodium group, the blood hemoglobin concentration（Hb）at 42 days of age in the medium sodium group was significantly increased ($P$<0.05). Compared with the medium sodium group and higher sodium group, blood hematocrit value （Hct） at 42 days of age in the lower sodium group was significantly decreased ($P$<0.05). 4) There were no significant differences in blood gas parameters ($P$>0.05). 5) Compared with the medium sodium group and higher sodium group, the weight and length of tibia in the lower sodium group was significantly decreased ($P$<0.05). Therefore, the 0.075% of sodium level can decrease the feed intake and bad for growth and development of tibia, and the higher sodium level (0.245%) can improve the growth performance of broilers, especially in the early period.

Key words: broilers; sodium; chlorine; dEB; growth performance; hematological parameters; tibia development